引用格式：孙永帅，田维敏，翟德利，等．我国橡胶树育种的技术瓶颈与创新发展建议．中国科学院院刊，2024, 39(1): 191-197, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20230518002.
Sun Y S, Tian W M, Zhai D L, et al. Technological bottlenecks and innovative developments for rubber tree breeding in China. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2024, 39(1): 191-197, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20230518002. (in Chinese)

我国橡胶树育种的技术瓶颈与创新发展建议

孙永帅　田维敏*　翟德利　杨永平*

中国科学院西双版纳热带植物园　西双版纳　666303

摘要　橡胶树优良品种是实现天然橡胶稳产保供的核心要素。我国植胶区地处热带北缘，属于非传统植胶区，气候等条件劣于东南亚传统植胶区，致使已种植的橡胶树频繁遭受低温寒害和病害，因而生产上急需高产抗逆品种。导致橡胶树高产抗逆品种贫乏的主要原因包括：橡胶树基因组高度杂合、童期长和异花授粉等特性，使得高产性状和抗逆性状不易聚合；橡胶树育种的选择方法效率低，不仅杂交分离群体小，而且依赖长期大田鉴定。建议：应用全基因组选择育种理念，尽快构建橡胶树高世代种子园，以实现多性状聚合育种；设立专门的技术支撑岗位持续扩大育种群体规模，打造橡胶树高效育种技术体系。

关键词　橡胶树高产抗逆品种，全基因组选择育种，高世代种子园，育种群体规模

DOI　10.16418/j.issn.1000-3045.20230518002

CSTR　32128.14.CASbulletin.20230518002

1 缺乏高产抗逆品种是我国天然橡胶产业发展的卡点

1.1 我国天然橡胶供需矛盾日益突出，自给率极低

天然橡胶是一种战略物资，与钢铁、煤炭、石油并称四大工业原料。在20世纪50年代的抗美援朝战争时期，以美国为首的帝国主义国家对我国实行全面的经济封锁、物资禁运，其中就有天然橡胶。世界上使用的天然橡胶绝大部分（98%）来自橡胶树（*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.），为了解决天然橡胶供给的“卡脖子”问题，在党中央领导下，老一辈科学家与多方力量共同努力，选育出一批适应我国非传统

*通信作者

资助项目：中国科学院稳定支持基础研究领域青年团队计划项目（YSBR-079）
修改稿收到日期：2023年12月20日

植胶区种植的橡胶树品种，并在我国高纬度地区大面积植胶成功。这在世界植胶史上创造了奇迹，实现了我国天然橡胶自产和供给的基本保障，并为后续抗逆高产品种选育提供了丰富的种源。随着我国汽车工业和国际贸易的快速发展，天然橡胶的需求量持续增加。2022年，我国天然橡胶年消费量已接近600万吨，占全球天然橡胶年产量的42%[1]。然而，我国2022年的天然橡胶产量仅85万吨，自给率不足15%，低于30%的国际供给安全线[2]。在当前百年未有之大变局的背景下，天然橡胶国际贸易环境不稳、供给风险剧增。

为保障天然橡胶的安全供给，推进天然橡胶产业高质量发展，我国亟须创新橡胶树育种技术，提高选育种效率，培育具有自主知识产权的、适合我国热区不同生态类型区的高产多抗橡胶树优良新品种，实现天然橡胶单位面积产量提高，从而提高我国天然橡胶自给率。

1.2 通过品种改良提高天然橡胶单位面积产量仍有很大空间

我国已划定面积为120万公顷（1 800万亩）的天然橡胶生产保护区①。2022年，我国植胶区开割面积约为79万公顷（1 185万亩），按年产85万吨天然橡胶计算，我国天然橡胶的平均单位面积产量约为1 076千克/公顷（72千克/亩）。由于橡胶树经济寿命长、品种更新极慢的特点，当前我国植胶区内的主栽品种仍是早年引进的老品种，还有少数新品种有一定比例的种植。云南植胶区内的橡胶树品种主要是3个引进的老品种（GT1、RRIM600和PR107）与2个自主培育并推广的新品种（云研77-2和云研77-4）；海南植胶区内的橡胶树品种主要是2个引进的老品种（RRIM600 和 PR107）与 1 个后来推广的新品种（热研73397）[3]。

橡胶树的产量是在割胶条件下形成的，与粮、棉、油和果树等作物“自主可控”的产量不同，橡胶产量除了受生物和非生物胁迫等自然环境因素的影响外，还受胶工割胶技能、割胶制度和市场价格等因素的影响[4,5]。例如，农垦经济体制改革以前，在云南和海南的I类植胶区②的一代胶园③中，这些老品种都有大面积干胶④单位面积产量超过1 500千克/公顷（100千克/亩）的记录，表明严格落实“管、养、割”等技术规程，可以保障橡胶树的生产，获得较高的单位面积产量[5]。

与其他经济作物一样，橡胶树品种改良仍是提高生产保护区内单位面积产量的根本途径。橡胶树驯化仍处于早期阶段，杂交代次少，栽培种的基因组杂合度接近于野生种[6]，且未聚合高产和抗逆性状，可进一步挖掘产胶潜力。例如，在云南孟定农场（I类植胶区）的试种结果表明，橡胶树高产新品种热研8-79在第4割年⑤的干胶平均产量可达到7.1千克/株、2 461.5千克/公顷（164.1千克/亩）；早期研发的新品种云研77-4干胶平均产量为2.1千克/株、709.5千克/公顷（47.3千克/亩）；对照组的引进老品种GT1的干胶平均产量为1.8千克/株、591千克/公顷（39.4千克/亩）[7]。这一试验表明，在特定植胶环境和管理条件下，热研8-79的平均株产和单位

① 国务院关于建立粮食生产功能区和重要农产品生产保护区的指导意见. (2017-04-10)[2023-12-18]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-04/10/content_5184613.htm.

② 植胶区根据气候可分为3类。其中，I类植胶区指年平均温度高于21℃，年降水量超过1200毫米，月平均气温不低于18℃的月数不少于9个月，平均风速小于2.0米/秒，从定植到达到开割标准的年数不高于7年；且近50年内低温天气的最低温度不低于0℃、平均气温不低于10℃、阴雨天气不超过20天等情况的区域。

③ 一代胶园是指首次种植橡胶树形成的园地，该园地之前未曾种植过橡胶树。一代胶园更新后，再次种植橡胶树，称为二代胶园。

④ 干胶又称天然生胶或生胶，是天然橡胶的主要初级制品。

⑤ 第4割年指橡胶树开割期的第4年。

面积产量分别约为云研77-4的3.4倍和3.5倍、GT1的3.9倍和4.2倍，表明通过品种改良有望提高植胶区内的平均株产和单位面积产量。由于天然橡胶单位面积产量取决于株产和有效割株数2个因素，但热研8-79等高产品种抗逆性差，造成橡胶产量的不确定性增加，难以保证30年生产周期内稳产高产的目标。通过选择不同的等位基因和变革性状选择方法等，聚合多个优异性状，提升高产品种的抗逆耐割性，并培育高产且多抗的橡胶树良种，逐渐更新生产保护区内橡胶树品种，有望提高天然橡胶单位面积产量。

2 橡胶树传统选育种存在的问题

2.1 橡胶树传统选育种周期长且效率低，现有方法不能高效聚合高产性状和抗逆性状

橡胶树在种质创制后，经历苗圃有性系比选择、大田无性系比选择及区域适应性鉴定，选择周期极为漫长。在2018年以前，我国橡胶树选育种程序为：① 苗圃有性系比选择，定植第3年开始试割2年，每年割2个月，每月割15刀；② 大田初级无性系比选择，3个小区，每小区5株，定植8年后连续割胶测产5年；③ 大田高级无性系比选择，3个小区，每小区50株，定植8年后连续割胶测产5年；④ 区域适应性鉴定，2个生态类型区，每个区2个实验点，每个实验点3个小区，每小区100株，定植8年后连续割胶测产5年。因此，橡胶树育种从授粉到品种的选育种总周期为43年，其中，选择周期30年，区域适应性鉴定13年。

2018年，该橡胶树选育种程序的技术规程进行了修改[8]，主要体现在2个方面：① 缩短选择周期，把历时13年的大田初级无性系比改为类似有性系比的“小规模无性系比”，缩短9年的选择时间；② 单独选择目标性状，分别对高产性状和抗逆性状开展试验。然而，对产量性状的选择目前仍采用长期大田测产的方法，对抗寒性状的鉴定仍然利用抗寒梯度前哨苗圃，不仅耗费大量的人力、财力和土地，而且选择规模小、效率低，特别是仍然难以获得有效聚合高产性状和抗逆性状的杂交后代。最近，法国农业国际合作研究发展中心（CIRAD）的研究人员已着手研究全基因组选择技术在橡胶树胶乳产量性状预测上的准确性，但因未剖析科学的产量构成性状，效果不佳[9]。

橡胶树具有基因组高度杂合、童期长、异花授粉、花期不同步、自交不亲和与结实率低等生物学特性，不利于应用传统选育种或分子设计育种方法实现多性状聚合育种目标。① 传统选育种方法。橡胶树的生物学特性决定了要将优异等位变异聚合到单一个体，需要构建规模庞大的杂交分离群体，并进行试割测产等大量的表型鉴定工作[10,11]。橡胶树的天然橡胶产量是在割胶条件下形成的，具有连续收获、累进计产的特点，产量构成性状难于剖析。测产数据易受环境和人工因素影响，准确度较低。因此，剖析产量构成性状及建立相应的鉴定评价技术是急需攻克的技术难题。② 分子设计育种方法。橡胶树的生物学特性使其无法构建重组自交系，挖掘数量性状位点的难度极大，是分子育种领域的国际性难题[6]。即使通过诱变育种等手段产生具有极端表型的突变体，也很难定位突变基因[6,11,12]。同时，最具应用潜质的分子模块未知，也暂无法开展分子设计育种。因而，在一段时间内，自然或人工杂交手段仍然是聚合橡胶树抗逆高产性状的重要手段。创新橡胶树种质的大规模选择方法是亟待解决的一个重要科学技术问题。

2.2 我国橡胶树种质资源利用亟待加强

橡胶树原产于南美洲亚马孙河流域。我国现有的橡胶树种质资源主要包含魏克汉种质、1981年前非魏克汉种质和1981年IRRDB野生种质⑥3类。魏克汉种

⑥ 国际橡胶研究与发展委员会(IRRDB)各成员国于1981年在亚马孙河流域收集的野生橡胶树种质。

质是魏克汉（Wickham）在1876年于亚马孙河流域采集橡胶树种子，经伦敦邱园（Kew Garden）育苗后，先后运抵斯里兰卡、印度尼西亚、马来西亚和新加坡，共存活46株，这些种质及其杂交后代均属于魏克汉种质，例如生产上推广应用的品种PR107、GT1、RRIM600、云研77–4和热研73397等[13]。海南儋州的国家橡胶树种质资源圃建于1983年、保存有橡胶树属的种质资源约6 000份，云南西双版纳的农业部景洪橡胶树种质资源圃建于2006年、保存有橡胶树属的种质资源约3 000份[13-15]，2个种质圃内多数种质为1981年IRRDB野生种质，大部分仍以增殖圃形式保存在有限面积内。目前，无论是魏克汉种质，还是1981年IRRDB野生种质，对其产量性状和抗逆性状均缺乏精准鉴定评价，严重制约了种质的创新利用。需要通过加强性状相关的遗传基础研究，剖析产量、抗寒和抗病的构成性状及建立相应的鉴定评价技术，构建通用的、高效的体细胞胚植株再生和植物遗传转化体系等技术平台，鉴定调控优异性状发生的关键基因和信号转导网络，突破定向引入野生种质基因资源的关键核心技术，进而丰富、改良橡胶树品种的遗传多样性，为种质创制提供优异种源。

3 我国橡胶树育种创新发展的建议

相比于水稻、玉米等粮食作物育种科技，橡胶树育种科技的发展十分滞后，现代科技几乎没有进入到橡胶树育种领域，橡胶树育种科技支撑不足严重制约了我国天然橡胶产业的高质量发展。传统育种方法往往聚焦于高产品种之间的杂交选育，缺少高世代育种和聚合育种的试验设计，致使我国橡胶树种植产业仍面临“高产品种不抗寒、抗寒品种不高产”的问题。小规模杂交育种方法叠加“投入少、平台差”因素，制约了我国橡胶树育种科技的发展，难以保障我国天然橡胶产业的高质量发展。

目前，我国已选育出一批单一性状优异的橡胶树品种，如高产品种热研8–79、抗寒品种93114等，并在橡胶树种质资源圃中筛选出一批表现出抗病特性的候选种质[13-16]。中国科学院等科研机构已经针对一些橡胶树种质测定了全基因组序列[6,11,12]，获得了大量的遗传多样性数据和植物性状数据，为解析优异表型遗传基础和鉴定关键基因提供了基础条件，并能有效保障橡胶树全基因组选择育种技术研发及高世代聚合育种研究。

3.1 创新基于全基因组选择理念的橡胶树育种选择技术

橡胶树常规育种手段依赖于连续多年的测产工作，选择效率低。全基因组选择育种技术是缩短橡胶树育种选择周期的变革性技术，其通过建立全基因组遗传标记与产胶和抗逆抗病相关性状间的关系，实现基于基因型的苗期早期选择，即以苗期基因组选择结合苗圃有性系比鉴定的方法取代传统的成龄树大田初级无性系比与大田高级无性系比的表型选择方法，有望将橡胶树育种选择周期从30年（旧的育种技术规程）或21年（新的育种技术规程）缩短为4年。基于此，重点开展3个方面工作：

（1）基于已创建和筛选的在单一性状方面表现优异的品种，以多性状聚合育种和提升有效割株数为目标，加大橡胶树育种平台投入和基础研究投入。进一步收集优异橡胶树种质资源，并鉴定评价优质性状，充分利用单一性状优异的橡胶树品种/种质，尤其针对生产高质量天然橡胶的优异种质，构建高世代橡胶树种子园。以基因组和表型组学等大数据为基础，充分结合人工智能深度学习模型等方法，研发全基因组选择育种技术并持续优化全基因组选择育种技术平台，缩短性状选择周期并扩大选择规模，挖掘调控橡胶树产胶、抗寒、抗病相关性状的遗传标记，实现对橡胶树性状的早期基因型选择。

（2）以基因编辑与过表达遗传转化技术等基因工程方法为依托，通过人工改造基因元件与人工合成基

因通路的手段，提升橡胶树全能性细胞的数量，进而研发通用且高效的橡胶树体细胞胚植株再生技术，突破无性系砧木创制瓶颈，促进植胶区种植材料升级换代。在攻克性状选择卡点的基础上，进一步突破橡胶树关键基因功能验证的基础研究瓶颈，解析抗逆等优异性状的遗传基础并鉴定关键基因，通过技术创新解析合成高质量橡胶的关键调控因子和信号通路，加速选育具有抗逆高产优质性状的橡胶树优良品种。

（3）加强橡胶树的早期选择、聚合育种、诱变育种、倍性育种、细胞工程育种、分子标记辅助育种及转基因育种等新技术研究，构建橡胶树现代育种技术体系。结合我国植胶区实际生产条件，进一步发掘高产、抗逆相关的遗传分子元件，鉴定有育种价值的分子模块，扩大种质创制规模和育种群体用于选择良种。

3.2 提升橡胶树高世代育种

天然橡胶产量不仅取决于单株橡胶树的胶乳产量，更取决于胶园的有效割株数量。橡胶树种质资源是筛选和培育橡胶树品种的基因库，是提升橡胶树有效株数、创制抗逆高产新品种的基础材料。建议将提升橡胶树有效割株数作为新时代橡胶树育种科技发展的一个重要目标，主要开展以下2个方面工作。

（1）针对已收集的橡胶树种质资源，在以往调查基础上，系统开展对橡胶树的割胶耐受性、抗寒、抗病等性状的鉴定与评价工作，进一步开展对橡胶树树皮乳管分化能力和有效乳管保持能力等天然橡胶产量构成性状的鉴定评价工作，解析其遗传基础。在此基础上，利用更广泛的橡胶树种质资源，开展高世代育种，创建基于多系交配组合设计的橡胶树初级种子园和高世代种子园，拓宽遗传背景以提高有效割株数，进一步全面解析天然橡胶产量的构成性状和关键调控因子，实现抗逆性状与高产性状的聚合育种。

（2）利用以传统杂交或基因工程获取的候选优异种质，补充或更新橡胶树高世代种子园的亲本树株，利用多方法大规模创制新种质，同时更新基因组选择技术平台的参考群体及数据库，加快选育抗逆高产种质。

3.3 建立橡胶树标准化高通量表型鉴定技术平台

每一个高产和高抗种质的杂交组合，都可能产生高产多抗的橡胶树种质，但选择规模太小则可能错失优异种质。因而，建议设立专业的技术支撑岗位，通过持续作业不断扩大全基因组选择的育种群体规模，加速选育高产多抗橡胶树品种。建议利用高光谱与高时空分辨率无人机的定量遥感，结合自动物候仪、孢子捕捉仪等手段，研发高通量表型获取技术，降低产胶、抗逆相关性状的鉴定评价工作量和人工鉴定误差，构建橡胶树标准化高通量表型鉴定技术平台，实现对橡胶树产胶和抗逆等性状的快速鉴定。在全基因组选择育种技术框架下，基于传统杂交和基因工程方法创制的优异种质，整合高世代育种和标准化高通量表型鉴定技术，打造从试验田到实验室、再到植胶区的橡胶树高通量整合育种技术体系。

参考文献

1 李青. 2022年天然橡胶期货市场回顾及2023年展望. 橡胶科技, 2023, 21(1): 10-15.
Li Q. Review of natural rubber futures market in 2022 and outlook in 2023. Rubber Science and Technology, 2023, 21(1): 10-15. (in Chinese)

2 柯佑鹏, 过建春. 中国天然橡胶安全问题的探讨. 林业经济问题, 2007, 27(3): 199-205.
Ke Y P, Guo J C. Study on the security issues of natural rubber in China. Problems of Forestry Economics, 2007, 27(3): 199-205. (in Chinese)

3 何长辉, 刘锐金, 莫业勇, 等. 农户橡胶树新品种采用行为及其影响因素分析——基于云南和海南植胶区调查. 西南农业学报, 2016, 29(3): 713-719.
He C H, Liu R J, Mo Y Y, et al. Analysis of factors affecting smallholders' adoption of new rubber tree variety—Based on survey of Yunnan and Hainan. Southwest China Journal

of Agricultural Sciences, 2016, 29(3): 713-719. (in Chinese)

4 叶德林. 云南勐腊县民营天然橡胶产业发展现状、问题与建议. 热带农业科技, 2006, 29(4): 15-17.
Ye D L. Present situation, problems and suggestion on private natural rubber industry. Tropical Agricultural Science & Technology, 2006, 29(4): 15-17. (in Chinese)

5 张希财, 谢贵水. 我国植胶区高产橡胶园产量状况和栽培措施. 中国热带农业, 2018, (6): 6-9.
Zhang X C, Xie G S. Production status and cultivation measures of high-yielding rubber plantations in our country's rubber-producing region. China Tropical Agriculture, 2018, (6): 6-9. (in Chinese)

6 Chao J Q, Wu S H, Shi M J, et al. Genomic insight into domestication of rubber tree. Nature Communications, 2023, 14(1): 4651.

7 高新生, 和丽岗, 樊社员, 等. 早熟高产品种热研8-79在云南孟定农场试种初报. 热带作物学报, 2016, 37(5): 851-855.
Gao X S, He L G, Fan S Y, et al. Preliminary trial report on early-maturing and high-yielding clone of Reyan 8-79 in Mengding state farm of Yunnan Province. Chinese Journal of Tropical Crops, 2016, 37(5): 851-855. (in Chinese)

8 中华人民共和国农业农村部. NY/T 607—2018 橡胶树育种技术规程. 北京: 中国标准出版社, 2018.
Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. NY/T 607—2018 Technical code of practice for rubber tree breeding. Beijing: Standards Press of China, 2018. (in Chinese)

9 Cros D, Mbo-Nkoulou L, Bell J M, et al. Within-family genomic selection in rubber tree (*Hevea brasiliensis*) increases genetic gain for rubber production. Industrial Crops and Products, 2019, 138: 111464.

10 Dai X M, Yang X F, Wang C, et al. CRISPR/Cas9-mediated genome editing in *Hevea brasiliensis*. Industrial Crops and Products, 2021, 164: 113418.

11 Tang C R, Yang M, Fang Y J, et al. The rubber tree genome reveals new insights into rubber production and species adaptation. Nature Plants, 2016, 2(6): 16073.

12 Liu J, Shi C, Shi C C, et al. The chromosome-based rubber tree genome provides new insights into spurge genome evolution and rubber biosynthesis. Molecular Plant, 2020, 13 (2): 336-350.

13 和丽岗, 肖桂秀, 宁连云, 等. 云南橡胶树选育种现状和展望. 热带农业科技, 2010, 33(1): 1-4.
He L G, Xiao G X, Ning L Y, et al. Current state on breeding and selection of hevea clone in Yunnan and its prospective. Tropical Agricultural Science & Technology, 2010, 33(1): 1-4. (in Chinese)

14 曾霞, 胡彦师, 方家林, 等. 国家橡胶树种质资源圃2007—2008年寒害调查. 中国农学通报, 2008, 24(12): 436-438.
Zeng X, Hu Y S, Fang J L, et al. Investigation on cold damage of accessions conserved in national rubber tree germplasm repository between 2007 and 2008. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(12): 436-438. (in Chinese)

15 潘华荪, 王正国. 云南橡胶树选育种工作进展和成就. 热带农业科技, 2005, 28(1): 9-15.
Pan H S, Wang Z G. Status quo and achievement of rubber selection and breeding in Yunnan. Tropical Agricultural Science & Technology, 2005, 28(1): 9-15. (in Chinese)

16 位明明, 李维国, 黄华孙, 等. 中国天然橡胶主产区橡胶树品种区域配置建议. 热带作物学报, 2016, 37(8): 1634-1643.
Wei M M, Li W G, Huang H S, et al. Regional configuration of rubber tree varieties in the main producing areas in China. Chinese Journal of Tropical Crops, 2016, 37(8): 1634-1643. (in Chinese)

Technological bottlenecks and innovative developments for rubber tree breeding in China

SUN Yongshuai TIAN Weimin* ZHAI Deli YANG Yongping*

（Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Xishuangbanna 666303, China）

Abstract Superior varieties of rubber trees are crucial elements in achieving stable production and supply of natural rubber. In China, rubber tree planting areas are situated at the northern edga of the world's tropical zone and thus belong to non-traditional rubber tree planting areas with climatic conditions inferior to the traditional ones in Southeast Asia. The planted rubber trees are frequently damaged by low temperatures and diseases. Therefore, an urgent need in natural rubber production is to develop varieties with high-yield potential and strong stress-tolerance. The scarcity of such varieties is mainly ascribed to the highly heterozygous genome, a long juvenile period, and highly cross-pollination, making it difficult to integrate high-yielding traits and stress-tolerant traits. Furthermore, breeding selection efficiency is quite low, mainly due to the small size of hybrid segregant populations and long-term field work in the identification and selection of superior varieties. To address these challenges, it is recommended to apply the concept of genomic selection breeding to establish an efficient rubber tree breeding technology system. This can be achieved by establishing a high-generation rubber tree seed orchard to continuously expand the breeding population size and realize multi-trait integration. By doing so, new and improved varieties of rubber trees can be developed with high-yield potential and strong stress-tolerance, ensuring stable production and supply of natural rubber in non-traditional planting areas like China.

Keywords rubber tree cultivars with high-yield potential and stress-tolerance, genomic selection breeding, high-generation seed orchard, breeding population size

孙永帅 中国科学院西双版纳热带植物园研究员。主要研究领域:基因组多样性和育种。E-mail: sunyongshuai@xtbg.ac.cn

SUN Yongshuai Professor of Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences (CAS). His research focuses on genomic diversity and breeding. E-mail: sunyongshuai@xtbg.ac.cn

田维敏 中国科学院西双版纳热带植物园研究员。主要研究领域:橡胶树生理与分子育种。E-mail: tianweimin@xtbg.ac.cn

TIAN Weimin Professor of Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences (CAS). His research focuses on the physiology and molecular breeding of rubber trees. E-mail: tianweimin@xtbg.ac.cn

杨永平 中国科学院西双版纳热带植物园主任、研究员。主要研究领域:植物基因组演化和次级代谢产物。E-mail: yangyp@xtbg.ac.cn

YANG Yongping Director and Professor of Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences (CAS). His research focuses on plant genomic evolution and secondary metabolism. E-mail: yangyp@xtbg.ac.cn

■责任编辑：文彦杰

*Corresponding author